Aus der Chirurgischen Abteilung
(Leiter: Professor Dr. med. Hermann MATHIS)
der Poliklinik und Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Freien Universität Berlin
Direktor: Professor Dr. med. Dr. med. dent. Ewald HARNDT
und
der Forschungsgruppe für Mikromorphologie
im Fritz-Haber-Institut (MPG)
Leiter: Professor Dr. phil. habil. J.-G. HELMCKE

FORMEN UND STRUKTUREN DER INTERGLOBULARRÄUME IM MENSCHLICHEN DENTIN

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
GERHARD H. HELMCKE
aus Berlin

1966

Aus der Chirurgischen Abteilung
(Leiter: Professor Dr. med. Hermann MATHIS)
der Poliklinik und Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Freien Universität Berlin
Direktor: Professor Dr. med. Dr. med. dent. Ewald HARNDT
und
der Forschungsgruppe für Mikromorphologie
im Fritz-Haber-Institut (MPG)
Leiter: Professor Dr. phil. habil. J.-G. HELMCKE

FORMEN UND STRUKTUREN DER INTERGLOBULARRÄUME IM MENSCHLICHEN DENTIN

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde

an der

Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

GERHARD H. HELMCKE

aus Berlin

Dekan: Professor Dr. med. Wilhelm MASSHOFF

Referent: Professor Dr. med. Hermann MATHIS

Korreferent: Professor Dr. med. Wilhelm MASSHOFF

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK - LEIDEN -

Gedruckt mit Genehmigung
der Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

Promoviert am 19. April 1966

INHALT

Seite

I. Einleitung 5

II. Literaturübersicht 5

III. Material und Methoden 8

A. Material 8

B. Methoden 8

a) Präparationstechniken 8

b) Beobachtungsmethoden 10

IV. Ergebnisse 11

A. lichtmikroskopisch 11

B. röntgenmikroskopisch 14

C. elektronenmikroskopisch 15

a) mineralisierte Schnitte 15

b) entmineralisierte, kontrastierte Schnitte 17

c) im kariösen Dentinbereich 19

d) Verlauf der Dentinkanäle 20

V. Diskussion 21

VI. Zusammenfassung 25

VII. Literatur 38

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546527_0107

I. Einleitung

Unter dem Begriff Interglobularräume (IGR) werden in der Zahnhistologie unmineralisierte, durch Kugelsegmente begrenzte Bezirke verstanden. In der Literatur gibt es nur wenige Arbeiten, die sich ausschließlich mit den IGR befassen. Oft werden sie nur nebenbei in den Beschreibungen über die Dentinmineralisation erwähnt. Obwohl die Ansichten über die Morphologie der IGR nicht einheitlich sind, vertreten die meisten Autoren die Meinung, daß diese Bezirke mit einer normalen Dentinmatrix angefüllt sind. Ein Grund für das Ausbleiben der Mineralisation ist bisher nicht bekannt.

Ebenso ist die Beziehung der Dentinkanäle zu diesen Bezirken noch unklar.

Eine Untersuchung der IGR im Elektronenmikroskop liegt bisher nur von de FAZIO (1963) vor. Er beschreibt darin, daß sich in diesen Räumen organische Substanzen befinden, die dicht granuliert sind und sich durch einen stärkeren Elektronenkontrast von der umgebenden Dentinmatrix deutlich abheben.

Dieses widerspricht jedoch den Beobachtungen anderer Autoren, die mit lichtmikroskopischen Methoden Kollagen in den IGR ermittelt hatten.

Aufgabe dieses Beitrages ist es, die Morphologie und die organischen Komponenten sowie deren Beziehungen zum umgebenden Globulardentin mit verschiedenen optischen Methoden zu untersuchen.

II. Literaturübersicht

Die Interglobulärräume (IGR) wurden zum ersten Mal von CZERMAK (1) (1850) erwähnt, als Bezirke mit unvollständig mineralisierter Dentinmatrix. In einem großen Teil des Dentins wird das Mineral in kugeliger (globulärer) Form in die organische Grundsubstanz ein-

gelagert. Die einzelnen Globuli vergrößern sich normalerweise solange, bis es zu ihrer Vereinigung kommt. Hört dieses Wachstum jedoch früher auf, so bleiben unmineralisierte Bezirke zurück. Diese Genese der IGR wird auch heute noch allgemein anerkannt. PROELL (20) ist allerdings der Ansicht, daß neben dieser Entstehungsart es außerdem noch möglich ist, „daß nach zunächst normaler Entwicklung der Globuli mit entsprechender Verkalkung später durch noch zu bestimmende Ursachen eine nachträgliche Entkalkung der interglobulären Partien stattgefunden hat . . ."

Es ist umstritten, ob die einzelnen Globuli miteinander verschmelzen (SCHOUR, 24 u. a., SICHER, 27) oder sich nur „dicht aneinanderlegen" (MEYER, 18, 19, WALKHOFF, 29), wobei dann die Homogenität der Dentinmineralisation durch „Schaltstücke" (MEYER, 18) zustandekommt. Diese befinden sich zwischen den einzelnen Globuli und werden im Normalfall auch mineralisiert. „Aber gewisse Unterschiede bezüglich der Verkalkung der Kugeln selbst und ihrer Zwischenbezirke bleiben doch meist bestehen" (MEYER, 19).

Die Begrenzung der Globoli erklärt SCHMIDT (23) auf Grund von polarisationsmikroskopischen Untersuchungen nach den Popoff'schen Gesetzen. Hierbei begrenzen sich die Globuli gegenseitig, ohne daß Schaltstücke eingefügt sind. Nur in einer relativ schmalen Zone unterhalb der v. Korffschen Schicht bleiben die Globuli so klein, daß sie einander nicht berühren. Sie sind also von „idiomorpher" Gestalt, getrennt durch Interglobularräume (SCHMIDT, 23).

Während einige Autoren (MEYER, 18, SCHOUR, 24, SCHMIDT, 22) eine konzentrische Schichtung der Globuli beschreiben, hält SCHMIDT (23) diese für unzutreffend.

Nach KEIL (15, 16, 23) liegen die Apatitkristalle „mit ihrer optischen Achse radial zum Bildungszentrum" der Globuli. Dadurch trifft für sie die Definition „echte Sphärite" zu. Diese Behauptung scheint berechtigt zu sein, da KEIL ein negatives Polarisationskreuz in „ausgekochten und aufgehellten Schliffen menschlicher Zähne" (MEYER, 23) nachweisen konnte.

Die Bezeichnung „Interglobularräume" kann zu der Annahme führen, daß es sich hierbei um Hohlräume (angefüllt mit Flüssigkeit) im Dentin handelt. In der Tat waren frühere Autoren (z. B. GOLDBERG, 8) dieser Meinung. Heute vertritt sie noch SCHMIDT (21). Er vermutet, daß diese „echten Hohlräume" von einer dünnen „Gewebs-

schicht" bedeckt sind. Die meisten Autoren schreiben jedoch, daß die IGR mit einer normalen Dentinmatrix angefüllt sind, die unmineralisiert (MEYER, 18, HELD, 9, 10, de FAZIO, 3, 5) oder minder- bis unmineralisiert (SICHER, 27) wären. MEYER (18) schlägt deshalb vor, die Bezeichnung IGR fallen zu lassen und sie durch Interglobulardentin zu ersetzen, „wobei man stillschweigend ergänzt, daß es unverkalkt ist". Welchen Reifegrad die Dentinmatrix in den IGR besitzt, bleibt häufig unklar. Sie besteht nach SICHER (27), SCHOUR (24 u. a.) aus Kollagenfibrillen, die in einer organischen Zementsubstanz eingebettet sind. v. EBENER (1891) (2) konnte auf Grund polarisationsoptischer Untersuchungen nachweisen, daß die Kollagenfibrillen vom GD zum IGR unbeeinflußt ihren Weg verfolgen. Nach lichtoptischen Untersuchungen von de FAZIO (4) ist der IGR mit corpuskulären organischen Substanzen angefüllt.

Das Verhalten der Dentinkanäle zu den IGR wird verschieden beurteilt. Viele Autoren beschreiben, daß die Kanäle durch sie hindurchziehen (WALKHOFF, 29, SICHER, 27, de FAZIO, 4 u. a.). Ob es sich dabei um den gesamten Dentinkanal oder um die Tomes'schen Fortsätze handelt, ist noch nicht sicher (HELD, 10). Nach MEYER (18) hat das Lumen der Dentinkanäle innerhalb der IGR einen größeren Durchmesser. MEYER (18) vertritt außerdem die Ansicht, daß die IGR mit zunehmendem Alter stärker mineralisiert werden können. Hierbei behalten die Dentinkanäle aber immer ihr erweiteres Lumen. Hierdurch sind diese Bezirke stets zu erkennen, selbst wenn sie vollständig ausmineralisieren.

Nach SCHMIDT (21) biegt ein Teil der Dentinkanäle vor den IGR ab und umgeht sie. Einige Kanäle sollen hierbei in der schon vorher erwähnten Deckschicht verlaufen. SCHOUR (24) beobachtet, daß der Verlauf der Dentinkanäle in ihrer gesamten Länge geschlängelt ist.

Elektronenmikroskopisch wurden die IGR bisher von de FAZIO (7) untersucht. Er benutzte Präparate, die vor der Einbettung in 20 % Trichloressigsäure entmineralisiert wurden. Auf seinen Abbildungen sind die IGR dunkler als das umgebende Globulardentin. Dieser starke Kontrast beruht auf einem Unterschied der organischen Strukturen in den beiden Bereichen. Während die Matrix des Globulardentins aus Kollagenfibrillen besteht, befinden sich im Interglobularraum polygonale Agglomerate von organischer Substanz, die dicht granuliert und elektronendichter seien als die Fibrillen der Umgebung.

Histochemische Untersuchungen (HELD, 10, de FAZIO, 3, HOFFMANN, 13) haben zum großen Teil ergeben, daß in den IGR Mucopolysaccharide in einer starken Konzentration und Chondroitinschwefelsäure (SCHMIDT, 22) vorliegen.

Statistische und topographische Untersuchungen bleiben ebenso wie die Häufigkeit der IGR in Beziehung zur Pathologie in diesem Beitrag unerwähnt. (Näheres hierzu siehe HELD (10), de FAZIO (3—7), MEYER (18, 19), SPRETER v. KREUDENSTEIN (28), WALKHOFF (29), ISOKAWA (14).)

III. Material und Methoden

A. Material

Für die Untersuchungen wurden extrahierte ein- und mehrwurzelige, meist kariesfreie Zähne zweiter Dentition von verschiedenen Entwicklungsstufen benutzt. Die Zähne wurden sofort nach der Extraktion in eine Konservierungsflüssigkeit aus 60 Teilen 95 %igem Alkohol, 15 Teilen Glycerin und 25 Teilen destilliertem Wasser gebracht. Die meisten Präparate wurden von Eckzähnen und Prämolaren hergestellt, da bei ihnen die Interglobularräume besonders gut ausgebildet sind.

B. Methoden

Um ein möglichst einheitliches, wahrheitsgetreues Bild von der Morphologie der Interglobularräume und der Globuli sowie deren Feinstrukturen zu erhalten, wurden unterschiedliche optische Verfahren angewandt (Licht-, Röntgen- und Elektronenmikroskopie).

a) Präparationstechniken

1. Lichtmikroskopische Präparationstechniken

Aus den Zähnen wurden mit einer Diamantkreissäge Scheiben von 100—200 μ Stärke unter ständiger Wasserkühlung herausgeschnitten, und zwar sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung. An-

schließend wurden diese Scheiben mit der Hand auf einer Glasplatte mit Carborundumpulver geschliffen bis die Dicke von 40—60 μ erreicht war. Zwischen allen Präparationsschritten durften die Präparate nicht trocknen. Nach gründlicher Spülung kamen sie unmittelbar wieder in die Konservierungsflüssigkeit.

Um die Anordnung der mineralischen Anteile zu überprüfen, wurden die Schliffe mit Äthylendiamin während $1^1/_2$ Stunden bei 118° entkollagenisiert. Diese Methode verändert die unlöslichen Teile weniger als das Kochen in Glycerinkalilauge.

2. Röntgenmikroskopische Präparationstechniken

Für diese Beobachtungsmethode konnten die lichtmikroskopischen Präparate benutzt werden.

3. Elektronenmikroskopische Präparationstechniken

Die bereits lichtoptisch untersuchten mineralisierten Präparate wurden für die elektronenmikroskopische Beobachtung in folgender Weise vorbereitet: Die Präparate wurden nach gründlicher Reinigung in Wasser zerkleinert und anschließend 18 Stunden lang in mit Veronalazetat gepufferter isotonischer 1 %iger Osmiumtetroxydlösung fixiert und anschließend eine Stunde lang in Tyrodelösung gewaschen. Es folgte eine stufenweise Entwässerung in der Alkoholreihe mit ansteigender Konzentration: 1 Stunde in 70 %igem, 1 Stunde in 90 %igem, 1 Stunde in 96 %igem, 2×1 Stunde in absolutem Alkohol.

Unmittelbar darauf kamen die Präparate in ein Gemisch von n-Butylmethacrylat und Methacrylat im Verhältnis 1 : 1 (viermal für 30 Minuten). Bis zu diesem Schritte wurden alle Präparationen bei etwa 4° C durchgeführt. Die Polymerisation erfolgte in zylinderförmigen Gelatinekapseln bei 60° während 12 bis 16 Stunden.

Für die Ultradünnschnittmikrotome mußten die Präparate so angespitzt werden, daß der lichtmikroskopisch ausgewählte Interglobularbereich in einer Pyramidenspitze lag. Es wurde mit Diamantmessern mit einem Schneidewinkel von 50° und einem Einstellwinkel von 6° an Ultramikrotomen von LEITZ, PORTER-BLUM, LKB Dünnschnittserien von 500—600 Å Dicke hergestellt und auf Kupfer-

netzen aufgefangen, die mit Formvar-Filmen überdeckt waren. Jedes zweite Netz wurde mit 1 %iger Phosphorwolframsäure über 1½ Stunden entmineralisiert und kontrastiert.

Das nachträgliche Entmineralisieren der Schnitte bietet den Vorteil, daß sie sowohl im mineralisierten wie unmineralisierten Zustand beobachtet werden können. Bei den verschiedenen Schnitten des gleichen Präparates wurde stets darauf geachtet, die identischen Stellen zu untersuchen. Es wurde ein Elektronendurchstrahlungs-Mikroskop der Firma Siemens & Halke AG. vom Typ „Elmiskop I" bei einer Strahlspannung von 60 kV benutzt.

b) Beobachtungsmethoden

1. lichtmikroskopisch

Um möglichst vielseitige Informationen aus einem einzigen Präparat zu erhalten, wurden sowohl im Durch- als auch im Auflicht folgende Methoden angewandt:

1. Hellfeld-Mikroskopie,
2. Dunkelfeld-Mikroskopie,
3. Phasenkontrast-Mikroskopie,
4. Fluoreszenz-Mikroskopie.

Für die Auflicht-Mikroskopie wurde das Leitz-Objektiv UO — 50 mit einem Reliefkondensor benutzt. Durch unterschiedliche und voneinander unabhängige Fokussierung von Objektiv und Ringkondensor wurde das Präparat in seiner räumlichen Ausdehnung abgebildet.

Mit dem Durchstrahlungs-Polarisationsmikroskop wurden dieselben Ergebnisse erreicht, wie sie ausführlich von SCHMIDT (23) und KEIL (15, 16) beschrieben worden sind.

2. röntgenmikroskopisch

Die Aufnahmen wurden an einem Röntgenprojektions-Mikroskop gefertigt.

Ausmeßbare Röntgen-Stereo-Aufnahmen werden dadurch hergestellt, daß das Präparat zwischen zwei Aufnahmen um einen bestimmten Winkel (15°) gekippt wird. Hierdurch tritt eine parallaktische Verschiebung der identischen Punkte ein, die sich bei simultaner Betrachtung der Teilbilder im dreidimensionalen Raum aus-

messen lassen. Hierzu wurde der Elmigraph benutzt nach Umstellung auf den divergenten Strahlengang.

Mit dem mikroradiographischen Gerät von Philips wurden keine zusätzlichen Informationen gewonnen.

IV. Ergebnisse

A. Topographie und Morphologie der Interglobularräume im Lichtmikroskop

Die Interglobularräume (IGR) befinden sich in fast allen Zähnen, besonders auf der buccalen und lingualen Seite, bei mehrwurzeligen Zähnen auch occlusal, dann meist im Bereich der zentralen Fissur, dagegen selten in den approximalen Regionen. Bei den Eckzähnen sind sie etwas häufiger als bei den anderen Zähnen. Diese Räume verlaufen meist parallel zu den Owen'schen Linien in einer Entfernung von 1—2 mm von der Schmelz-Dentin-Grenze (Abb. 1). Oft kommen sie in Höhe der Kronenmitte gehäuft vor. Größe und Gestalt dieser Räume sind sehr variabel: von kaum erkennbaren isolierten Spalten bis zu großen zusammenhängenden Gebilden, in denen isolierte Globuli zu liegen scheinen (Abb. 1, 2). Die IGR sind durch Kugelsegmente (= Oberfläche der Globuli) begrenzt. Die Form der IGR wird durch die Zahl, Größe und Anordnung der sie begrenzenden Globuli bestimmt. Beteiligen sich viele Globuli an der Umgrenzung, dann ist für gewöhnlich die dem Schmelz zugewandte Seite der IGR nur schwach, die der Pulpa zugewandte stärker gewölbt. Diese Beobachtungen stimmen mit der Beschreibung in der Literatur überein.

Die Globuli scheinen im Durchlicht gegen die IGR durch eine etwas dunklere Linie scharf abgegrenzt zu sein (Abb. 2 a, 4 a). Diese Linien sind bei schwacher Vergrößerung glatt, bei stärkerer sind kleine Eindellungen zu beobachten. Häufig stimmen diese mit den Einmündungen der Dentinkanäle überein (Abb. 2 a).

Die Globuli scheinen bei Hellfeld-Auflicht-Betrachtung meist etwas höher zu liegen, als der Inhalt des Interglobularraumes (Abb. 2 c, 4 b). Diese Erscheinung läßt sich auf die verschieden starke Reflexion des schräg einfallenden Lichtes zurückführen. Die Stärke der Reflexion hängt u. a. vom Brechungsverhältnis der Substanzen zueinander und

vom Winkel ihrer Berührungsflächen in bezug auf einfallenden und reflektierten Strahl ab.

Ist die konvexe Grenzfläche der Globuli zum Objektiv hin gerichtet, so erscheint diese Fläche hell, weil schräg einfallende Lichtstrahlen von ihr ins Objektiv reflektiert werden (Abb. 2 c, 2 d. 2 k, 4 b). Der Spalt zwischen den einzelnen Globuli muß jedoch groß genug sein, damit das schräge Licht überhaupt die Grenzfläche erreichen kann. Die aneinander anschließenden oder gegenüberliegenden Begrenzungsflächen des IGR können durch zirkuläres Wandern des Lichtstrahles nacheinander zum Aufleuchten gebracht werden, ein Effekt, der durch eine in den Lichtstrahl gebrachte drehbare Blende mit exzentrischem Loch erreicht werden kann.

Die oberflächlichen Dentinkanäle wirken im Hellfeld-Auflicht wie Furchen. Soweit sie im IGR zu verfolgen sind, biegen sie weder beim Austritt aus den Globuli, noch später um (Abb. 4 b).

Die IGR sind im Hellfeld-Durchlicht mit einer meist homogenen, durchscheinenden, aber nicht durchsichtigen Substanz angefüllt (Abb. 2 b, 4 a). Aus diesem Grunde kann lichtmikroskopisch die Begrenzung der Globuli nicht weit in die Tiefe verfolgt werden. In einigen Fällen befand sich in den IGR auch eine leicht granulierte Substanz (Abb. 28). Hierüber wird im Kapitel IV, C, 3 berichtet.

Der Verlauf der Dentinkanäle bzw. der Tomes'schen-Fasern durch die IGR ist im ungefärbten Präparat meist schlecht zu erkennen (Abb. 2 a, 4a). Wie HELD bereits zeigte, lassen sie sich jedoch nach Silbernitratfärbung auch dort gut verfolgen.

Bei der Durch- und Auflichtfluoreszenzmikroskopie zeigt die organische Substanz der IGR eine starke Eigen-(primär)-fluoreszenz (die Ergebnisse beider Methoden sind bei den untersuchten Präparaten etwa gleich). Nach Anfärben mit einem Fluoreszenzfarbstoff (Acridinorange) wird dieser Effekt verstärkt (sekundäre Fluoreszenz). Die Globuli erscheinen dagegen schwarz sowohl im gefärbten als auch im ungefärbten Zustand, da Hydroxylapatit keine Eigenfluoreszenz besitzt und auch keine fluoreszierenden Farbstoffe anlagert (Abb. 2 e, 5). Im Bereich der Globuli sind die Dentinkanäle als primär- und sekundär fluoreszierende Striche von wechselndem Durchmesser zu erkennen. Im IGR dagegen werden sie wegen der schon vorhandenen Fluoreszenz überstrahlt. Bei einigen Präparaten fluoreszierte die Grenzschicht der Globuli besonders stark. Dieses Phänomen kann auf

Abb. 7 b) Grundkartierung und Profilschnitte eines IGR-Komplexes aus Abb. 7 a), durchgeführt am Elmigraphen I (Ausmessung und Zeichnung: K. Bogen)

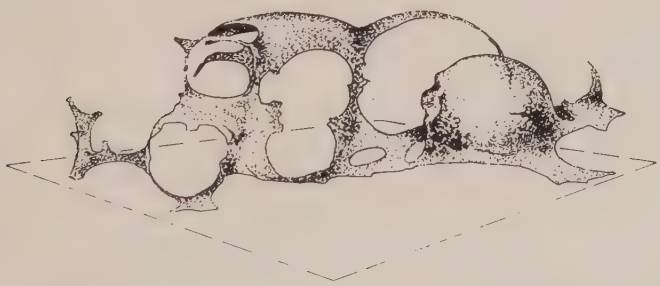


Abb. 7 c) Wirklichkeitsgetreue räumliche Darstellung auf Grund von Abb. 7 b) (Zeichnung: K. Bogen)

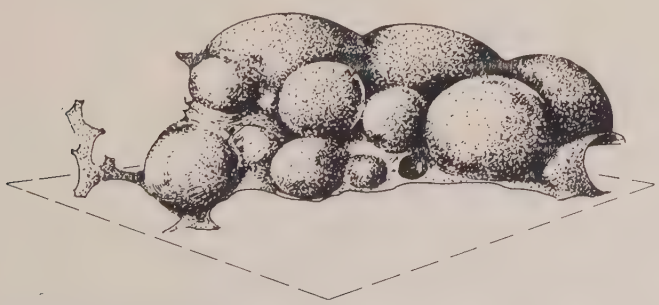


Abb. 7 d) Vervollständigte räumliche Rekonstruktion der Abb. 7 c) (Zeichnung K. Bogen)

einer Häufung von organischer Substanz in diesem Saum beruhen (vgl. IV, C b).

Die Primär- und die Sekundär-Fluoreszenz sowie die Löslichkeit von Äthylendiamin beweisen, daß organische Substanzen sowohl in den IGR als auch in den Dentinkanälen vorhanden sind.

Werden die organischen Substanzen durch Äthylendiamin zerstört, dann sind die IGR völlig leer (Abb. 2 f—k).

Im Dunkelfeld-Durchlicht erscheinen sie daher als schwarze Löcher, die sie umgebenden Globuli glasartig. Die Dentinkanäle gleichen wegen ihrer stärkeren Reflexion hellen Strichen (Abb. 2 h).

Bei Durchstrahlung des Präparates (Hellfeld-Durchlicht) tritt das Licht ungehindert durch die IGR hindurch. Durch das Herauslösen der organischen Substanzen ist es nun möglich, die Begrenzung der IGR durch Heben und Senken des Tubus räumlich zu erfassen. Es ist deutlich zu erkennen, daß die Form der IGR nur von den Globuli bestimmt wird (Abb. 2 f, 2 g). Da diese jedoch keine konstante Größe haben und sich zu keinem geordneten Muster zusammenfügen, hat jeder IGR eine individuelle Gestalt.

Die Dentinkanäle wirken bei dieser Untersuchungsmethode wegen der an ihnen auftretenden Streuung etwas dunkler.

Auch die Auflicht-Hellfeld-Mikroskopie zeigt die IGR als schwarze Hohlräume. Die konvexen Grenzflächen der Globuli sind durch die Reflexe oder Schatten des schrägauffallenden Lichtes gut zu erkennen (Abb. 2 i, 2 k).

Bei der Auflicht- und Durchlichtfluoreszenz-Mikroskopie leuchten nur noch die Globuli schwach auf, während die IGR völlig schwarz sind (Abb. 2 c). Die in den Abbildungen sichtbare stärkere Helligkeit der Globuli ist wahrscheinlich durch die Aufnahmetechnik bedingt.

B. Morphologie der Interglobularräume im Röntgenmikroskop

Die Röntgenstrahlen werden vom anorganischen Mineralanteil stark, von den organischen Substanzen fast gar nicht absorbiert. Da die Interglobularräume die Röntgenstrahlen ungehindert hindurchtreten lassen, schwärzt sich die dahinter liegende photographische Platte an diesen Stellen stärker. Im photographischen Positiv sind die IGR dementsprechend hell. Es ist dies ein weiterer Beweis dafür, daß die IGR unmineralisierte Substanz enthalten. Das gleiche gilt auch

von den Dentinkanälen, die in den Aufnahmen gut zu erkennen sind. Der Vorteil dieser Methode liegt vor allem darin, daß auch die oberflächlich nicht erkennbaren in der Tiefe liegenden Globuli sichtbar werden. Im Gegensatz zu der geringen Tiefenschärfe des Lichtmikroskops bilden die Röntgenstrahlen das gesamte Präpaparat in seiner gesamten Mächtigkeit scharf ab. Diese Technik gestattet daher eine photogrammetrische Ausmessung von Röntgen-Stereo-Aufnahmen. Die Auswertung ergab, daß es sich bei den Globuli um Kugeln handelt. Ihre Form ist nicht immer im ganzen Umfang erhalten, weil durch die Präparation Teile von ihnen abgeschliffen werden. Die IGR erscheinen röntgenmikroskopisch leer zwischen den aneinander angrenzenden Globuli.

C. Morphologie der Interglobularräume im Elektronenmikroskop

a) mineralisierte Schnitte

In Schnitten von mineralisiertem Dentin sind elektronenmikroskopisch die Interglobularräume leicht zu erkennen, weil sie sich gegen die dunkel erscheinenden mineralisierten Globuli als helle Felder abheben (Abb. 10, 15, 20). Ihre Gestalt ist stark variabel, da die Globuli unregelmäßig verteilt sind. Die lichtmikroskopisch arkadenförmige Begrenzung der Globuli braucht nicht immer in einer gleichmäßig gekrümmten Linie zu verlaufen. Die einzelnen IGR können miteinander zusammenhängen (Abb. 10, 12). Die Breite der Verbindungen ist unterschiedlich. Sie können selbst so schmal werden, daß sie auch bei höherer Vergrößerung wegen der Verschmelzung gegenüber liegender Dentinbezirke nicht mehr zu erkennen sind (Abb. 12, 15, 16). Auf keinem der Schnitte ist eine Vorzugsrichtung der Strukturen im Globulardentin zu erkennen, wie nach den polarisationsmikroskopischen Untersuchungen von SCHMIDT und KEIL (1958) (23) zu erwarten wäre. Die mineralisierten organischen Strukturen sind völlig ineinander verwoben. Die organischen Bestandteile der Globuli sind durch die Ein- und Auflagerung der Hydroxylapatitkristalle verschleiert. Diese Kristalle sind hellgraue flache Blättchen. Sie erscheinen aber auch häufig als feine grauschwarze Nadeln, wenn sie mit ihrer Fläche parallel zum Elektronenstrahl liegen (Abb. 11 b). Eine gewisse Ordnung der Dentinstrukturen ist häufig um die Dentinkanäle zu finden, wo die anorganischen und organischen Bestandteile einen mehr zirkulären Verlauf haben

(Abb. 12, 15). Nur in einem Präparat (Abb. 20) konnte eine gewisse strukturelle Ordnung festgestellt werden. Sie zeigt sich aber nicht in einem sphäritischen Aufbau der Globuli, sondern erstreckt sich über das ganze Dentin, in dem die mineralisierten organischen Substanzen annähernd parallel zueinander verlaufen. Jener polarisationsmikroskopische Befund ist in keiner Weise zu bezweifeln, sondern muß eine morphologische Struktur zur Ursache haben, die elektronenoptisch bisher nicht feststellbar ist.

Eine scharfe Begrenzung der Globuli zu den IGR kann in keinem der Präparate festgestellt werden (Abb. 11 a, 13). Das mineralisierte Globulardentin ragt überall in die unmineralisierten Räume ein, und einzelne Kristallgruppen können sogar frei in geringer Entfernung vom zusammenhängenden Dentin im IGR liegen (Abb. 13). Daß es sich hierbei um eine artifizielle Abscherung beim Schneiden handelt, ist nicht anzunehmen, da sowohl die organische Substanz als auch das Metacrylat unverletzt und ohne jegliche Stauchungen sind. Wie auf Abb. 11 a und 11 b ersichtlich ist, gehen die anfangs mineralisierten Fibrillen ohne jegliche Unterbrechung unmineralisiert weiter. Bei den schmalen Verbindungen der IGR vermischen sich die von beiden Seiten gegeneinander vorrückenden mineralisierten Bestandteile. Eine Begrenzungslinie ist daher nicht mehr festzustellen, das Dentin beider Seiten geht fließend ineinander über (Abb. 12, 14). Bei einigen (besonders etwas dickeren) Schnitten zeigten die Globuli in dem Grenzbezirk eine etwas hellere, also mehr elektronendurchlässige Randzone, was für einen geringeren Mineralgehalt sprechen dürfte (Abb. 29, 30). Dieser Saum hat im entmineralisierten, kontrastierten Schnitt (worauf aber später eingegangen werden soll) eine dichtere Anordnung der Kollagenfibrillen als das Globulardentin und der IGR.

Im mineralisierten, unkontrastierten Schnitt ist zu erkennen, daß sich im IGR Kollagenfibrillen befinden (Abb. 11, 17, 18). Wegen der fehlenden Kontrastierung treten sie nicht sehr scharf hervor. Die Querstreifung der Fibrillen ist nicht immer deutlich zu sehen. Gut zu erkennen ist aber schon jetzt, daß die Menge der Fibrillen in den einzelnen Präparaten sehr variiert, obwohl die Schnittdicke bei allen Präparaten ungefähr gleich ist (Abb. 11 a, 15). Außerdem ist auch jetzt schon ersichtlich, daß die Fibrillen ungeordnet verlaufen und in allen drei Raumdimensionen sich gegenseitig verflechten. Auf fast allen Schnitten befanden sich die Dentinkanäle nicht nur im verkalkten Globulardentin, sondern ebenso in den IGR (Abb. 10, 15). Eine Ver-

dichtung oder eine besondere Anordnung der Kollagenfibrillen um die Dentinkanälchen des IGR ist nicht zu sehen. Auf einigen Schnitten liegt der Dentinkanal genau auf der Grenze zwischen mineralisiertem und unmineralisiertem Gewebe. Der Dentinkanal ist nur noch von einer dünnen mineralhaltigen Zone gegen den IGR abgegrenzt (Abb. 17, 18). Der gleiche Dentinkanal hatte einige Schnitte tiefer überhaupt keine mineralhaltigen Schicht mehr gegen den IGR und war auch im ganzen viel weiter in den Raum verlagert. (Ein ähnliches Bild zeigt Abb. 10. 15.) Auf anderen Schnitten gingen die Verbindungen der IGR direkt durch Dentinkanäle (Abb. 12), oder aber die Dentinkanäle waren von einer lakunenartigen Ausweitung des IGR umgeben (Abb. 15, 17, 19).

b) entmineralisierte, kontrastierte Schnitte

Wie im Kapitel „Methode" beschrieben, wurden die Schnitte erst nach dem Schneiden auf dem Ultramikrotom mit 1%iger Phosphorwolframsäure entmineralisiert und kontrastiert. Die angefärbten Fibrillen treten im Elektronenmikroskop deutlich hervor. Die Querstreifung der Fibrillen ist klar zu erkennen. Ihre Morphologie beweist eindeutig, daß es sich um Kollagenfibrillen handelt (Abb. 22, 23). Zwischen den Fibrillen befindet sich eine interfibrilläre Substanz, die sich elektronenoptisch jedoch nicht näher differenzieren läßt. Wie schon weiter oben gesagt wurde, war die Quantität der organischen Substanz der IGR bei den verschiedenen Präparaten nicht gleich. Dies ist jetzt im entmineralisierten und kontrastierten Bild viel deutlicher zu sehen (Abb. 23, 25). Von der Menge der Kollagenfibrillen im IGR ist die gute Erkennbarkeit dieser Räume weitgehend abhängig. Bei den Präparaten, in denen ungefähr gleichviel organische Substanz in den Globuli wie in den IGR vorhanden ist, sind sie nicht immer leicht zu finden, worauf jedoch noch später weiter eingegangen werden soll.

Die Globuli zeigen ein engvernetztes Gewirr von Kollagenfibrillen, wie bereits von den mineralisierten Schnitten zu erwarten ist (Abb. 21, 25). Irgendwelche bevorzugte Anordnungen sind jedoch nicht zu erkennen. Im Bereich der Globuli sind die Kollagenfibrillen nicht ganz so klar begrenzt wie im IGR (Abb. 23, 25). Sie wirken eher etwas verschwommen und verwaschen. Die einzelnen Fibrillen sind rund, was an den quergetroffenen Formen zu sehen ist (Abb. 27). Ihr Verlauf ist teils gerade, teils gebogen. Zwischen den Fibrillen befinden sich überall Hohlräume, in denen vorher die anorganischen

Substanzen eingelagert waren (Abb. 22, 25). Das verschwommene Bild der Kollagenfibrillen im Globulardentin wird teils darin begründet sein, daß durch die Ein- und Auflagerung der Hydroxylapatitkristalle die fibrilläre Struktur verändert wurde, vielleicht aber auch teils darin, daß beim Herauslösen der Kristalle Bindungskräfte der Fibrillen frei werden, die stärker von der Säure angegriffen werden können. Die Valenzen der Fibrillen in den IGR sind stärker in sich abgesättigt, wodurch die Fibrillen einen viel besseren Säureschutz besitzen; außerdem sind sie durch Imprägnation mit dem Methacrylat vor dem Zutritt der Säure weitgehend abgeschirmt.

Bei den entmineralisierten und kontrastierten Schnitten ist ebensowenig wie bei den mineralisierten eine scharfe Grenze zwischen dem globulären und interglobulären Bezirk zu erkennen. Die längsgetroffenen Kollagenfibrillen ziehen, z. T. ohne jegliche Unterbrechung, von dem einen Bereich in den anderen ein (Abb. 22—25). An einigen ist noch gut zu beobachten, daß innerhalb der vormals mineralisierten Zone Apatitkristalle an sie angelagert waren (Abb. 24). Die schmalen Verbindungen der IGR zeigen sogar Fibrillen, die auf beiden Seiten noch in das Globulardentin hineinreichen. Die organische Matrix beider Bezirke (Globularraum wie Interglobularraum) ist also auf das Innigste miteinander verbunden. Wie schon vorher erwähnt, ist die bei einigen Präparaten auftretende weniger stark mineralisierte Randzone der Globuli durch eine dichtere Anordnung der Kollagenfibrillen ausgezeichnet (Abb. 32, 33). Aber auch in einigen Präparaten, die im mineralisierten Zustand keine Randzone zeigten, lassen sich nach dem Entmineralisieren und Kontrastieren dunklere Randsäume erkennen (Abb. 21, 22, 25). Auch hierbei handelt es sich um eine lokale Verdichtung der Kollagenfibrillen.

Die IGR zeigen bei den einzelnen Präparaten ein unterschiedliches Bild. Bei manchen treten sie als helle Felder hervor, da sie, im Vergleich zum Globulardentin, wenig organische Substanz enthalten (Abb. 23). In anderen Fällen finden sich in den IGR fast ebenso viele Fibrillen wie in den Globuli (Abb. 21, 25). Wenn diese Räume dann nicht von einem dunkleren Saum umgeben sind, so sind sie auf der Übersichtsvergrößerung kaum zu erkennen. Ein gutes Charakteristikum der IGR ist es, daß sich zwischen den einzelnen Fibrillen Methacrylat befinden muß, was im Elektronenbild, besonders bei höheren Vergrößerungen, als leicht gräuliche homogene Masse zu erkennen ist (Abb. 23, 24). Im Globulardentin ist dagegen kaum Methacrylat vor-

handen, da die Präparate erst nach dem Einbetten entmineralisiert werden und in voll mineralisiertes Dentingewebe nur wenig Methacrylat eindringen kann. Ein einziges Präparat zeigte keine Vernetzung der Kollagenfibrillen im IGR (Abb. 27). Hier war der weitaus größte Teil der Fibrillen quergeschnitten. Wie bei den mineralisierten waren auch bei den entmineralisierten Schnitten wiederum Dentinkanäle in den IGR zu sehen (Abb. 25). In manchen Fällen waren sie von einem dichteren, leicht radialstrahlig angeordneten Fibrillennetz umgeben. In anderen Fällen war um sie herum eine Änderung der Fibrillenstruktur nicht zu erkennen. Dentinkanäle in lakunenartigen Ausstülpungen der IGR und auf der Grenze des Globulardentins zum IGR waren ebenfalls zu finden (Abb. 27).

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß zwar in dem Globulardentin mehr Kollagenfibrillen als im IGR vorhanden sind, beide Bezirke verbinden sich aber durch Fibrillen auf das Innigste miteinander.

c) Interglobularraum aus einem kariösen Dentinbereich

Ein Präparat (Abb. 28—33) bot ein ganz anderes Bild als die bisher beschriebenen. Bei den mineralisierten Schnitten befinden sich im Interglobulardentin einzelne, völlig mineralisierte Bezirke, die als Dentininseln oder Kleinstglobuli bezeichnet werden können. Daß es sich hierbei nicht um den Anschnitt des Bodens oder Daches dieses IGR handelt, war an Schnitten aus verschiedenen Tiefen dieses Raumes zu ersehen. Da die Inseln in jedem Schnitt vorhanden waren, muß demnach der gesamte IGR mit ihnen angefüllt sein. Bei der lichtmikroskopischen Untersuchung erscheint der Inhalt des IGR korpuskular (Abb. 28). Auch andere Präparate zeigten zwar diese granulierte Strukturierung im Lichtmikroskop, die elektronenmikroskopische Untersuchung ergab jedoch bis auf eine etwas größere Dichte der Kollagenfibrillen im IGR stets das von den anderen Präparaten gewohnte Bild.

Zwischen und besonders neben den einzelnen Dentininseln liegen Ansammlungen größerer, fast schwarzer (elektronendichterer) Kristalle, die in ihrer Gestalt dem Whitlockit ähneln. An einigen Stellen scheint es, als ob diese nicht angeordneten Kristalle kleinste Dentininseln bedecken (Abb. 31).

Die Form und Größe der Dentininseln ist völlig unterschiedlich. Überall ragen Ausläufer der mineralisierten Bezirke in die unmineralisierte Umgebung hinein. Eine sphäritische Anordnung der

Kristalle in den Inseln ist nicht zu erkennen. Die Inseln bieten also das gleiche Bild im kleinen wie die Globuli im großen. Diese Ähnlichkeit wird bei Betrachtung der entmineralisierten und kontrastierten Schnitte noch deutlicher (s. weiter unten).

Das Globulardentin hat zum Interglobulardentin bei diesem Präparat eine deutlich hellere (elektronendurchlässigere) Randzone (Abb. 29, 30). Es ist anzunehmen, daß in ihr weniger mineralische Substanzen als im Globulardentin vorhanden sind. Bis auf diese Besonderheit ist die Morphologie der Globuli und außerdem auch ihre Grenze zum IGR sowohl im mineralisierten als auch im entmineralisierten und kontrastierten Schnitt völlig identisch mit den schon vorher beschriebenen Präparaten, so daß hier nicht weiter darauf eingegangen werden soll.

Nach dem Entmineralisieren und Kontrastieren zeigt sich, daß in der Randzone mehr Kollagenfibrillen sind als in dem übrigen Globulardentin (Abb. 32, 33). Die Fibrillen in den vorher mineralisierten Dentininseln sind wie im Globulardentin ohne jegliche Vorzugsrichtung und ziehen überall in das Interglobulardentin ein. Die Inseln können untereinander oder auch mit dem Globulardentin durch einzelne Fibrillen verbunden sein. Während sowohl im Globulardentin als auch in den Inseln die Fibrillen äußerst klar sind und eine deutliche Querstreifung haben, wirken sie im Gegensatz dazu im Interglobulardentin eher zerstört (Abb. 33). Sie sind dunkler, haben zum größten Teil ihre Querstreifung verloren, zeigen Koagulation. Auch die Oberfläche einiger Fibrillen scheint angelöst zu sein. Die vorher im Interglobulardentin vorhandenen Kristalle sind bei der Entmineralisation mit herausgelöst worden. Ob die Fibrillen an diesen Stellen besonders stark verändert wurden, läßt sich nicht feststellen. Die gut erhaltenen Kollagenfibrillen der mineralisierten Bezirke (Globuli und Inseln) stehen somit im krassen Gegensatz zu den stark veränderten des unmineralisierten Interglobulardentin.

d) Verlauf der Dentinkanäle

Anhaltspunkte, daß die Dentinkanäle nicht durch die Interglobularräume ziehen, sondern vorher abbiegen, ließen sich nicht finden. Die Anwesenheit von Dentinkanälen in den IGR sowie ihre Lage auf der Grenze von mineralisiertem zum unmineralisiertem Gewebe sprechen dafür, daß sie durch die IGR von ihrer Verlaufsrichtung nicht abgelenkt werden.

V. Diskussion

Die Interglobularräume werden von den meisten Autoren auf Grund von lichtmikroskopischen Untersuchungen als unmineralisierte Dentinbezirke mit einem organischen Inhalt beschrieben. Diese Meinung kann durch die vorliegenden Ergebnisse im wesentlichen bestätigt werden. Die starke Primärfluoreszenz sowie die Tatsache, daß nach Einwirken von Äthylendiamin diese Räume völlig leer sind, können als lichtmikroskopischer Beweis hierfür angesehen werden. Für eine weitere Differenzierung der organischen Substanz sind diese Methoden jedoch nicht ausreichend. Einige Autoren konnten mit polarisationsmikroskopischen Untersuchungen und spezifischen Färbungen feststellen, daß es sich, wie in der übrigen Dentinmatrix, um Kollagen handelt.

Eine Bestätigung hierfür war in der Anwendung des Elektronenmikroskopes zu erwarten. Die einzige derartige Veröffentlichung (de FAZIO, 7) wurde an entmineralisierten Präparaten durchgeführt. Hierbei beobachtete er, daß in den IGR zwar organische Strukturen sind, es sich bei ihnen aber nicht um Kollagenfibrillen handelt. In seinen Ausführungen beschreibt de FAZIO nur das Aussehen dieser organischen Substanzen als granuläre, elektronendichtere, polygonale Agglomerate. Unklar bleibt aber, um welche Gewebsart es sich dabei handelt. Die IGR heben sich in seinen Abbildungen als dunkle Bezirke von der helleren entmineralisierten Dentinmatrix ab. In ihr sind die Kollagenfibrillen deutlich sichtbar.

Im Gegensatz zu de FAZIO waren bei den eigenen Untersuchungen sowohl in den mineralisierten als auch in den entmineralisierten Schnitten die IGR stets heller als das Globulardentin. Ganz deutlich zeigt sich in den entmineralisierten Präparaten, daß das organische Gewebe beider Bereiche aus Kollagenfibrillen und einer elektronenoptisch schlecht darstellbaren interfibrillären Substanz besteht. Die von de FAZIO beschriebenen Agglomerate waren in keinem der eigenen Präparate zu sehen. Da es mir nicht gelang, sein Ergebnis zu reproduzieren, muß ich eine Beurteilung seiner Befunde offenlassen.

Die Feststellung, daß die IGR und das Globulardentin ein zusammenhängendes Kollagenfibrillengeflecht hat, darf aber nicht zu der Vermutung verleiten, beide Gebiete besäßen eine einheitliche Dentinmatrix. Um hierüber eine bindende Aussage zu erhalten, müßten nicht

nur die Fibrillen beider Bezirke auf ihren Reifegrad, sondern auch die interfibrillären Substanzen auf ihre Übereinstimmung untersucht werden. Zweckmäßig erscheint hierfür das von SCHWARZ (25, 26) angegebene Versilberungsverfahren.

Die nach KEIL (15) und SCHMIDT (23) zu erwartende radialstrahlige Anordnung der Apatitkristalle im Globulardentin ließ sich elektronenoptisch nicht nachweisen. Es war zwar nicht möglich, die Globuli wegen der starken Vergrößerung des Elektronenmikroskopes in ihrer ganzen Größe abzubilden, aber dennoch müßte der radialstrahlige Aufbau der Globuli selbst an kleinen Ausschnitten durch eine Parallelität der Kristalle zu erkennen sein. Auf den elektronenmikroskopischen Aufnahmen liegen die Kristalle ohne bemerkbare Vorzugsrichtung. Es wäre hierbei noch zu bedenken, ob die Kristalle eventuell durch das Schneiden aus ihrer ursprünglichen Lagebeziehung zueinander abgedrängt werden. Dies halte ich jedoch für unzutreffend, da die beim Schneideprozeß auftretende Stauchung durch die anschließende Streckung der Schnitte mit Chloroform wieder ausgeglichen wird. Wodurch der polarisationsmikroskopische Effekt zu begründen ist, läßt sich leider elektronenoptisch noch nicht ermitteln.

Anhaltspunkte, daß die Globuli sich nur dicht zueinanderlegen (MEYER, 18), waren elektronenmikroskopisch nicht zu finden. Es zeigte sich vielmehr, daß die Strukturen der Globuli bei gegenseitiger Annäherung völlig ineinander übergehen. Eine Begrenzungslinie ist dann nicht mehr zu erkennen. Schließt man eine radialstrahlige Anordnung der Kristalle in den Globuli aus, so ist ihre Verschmelzung aber auch zu erwarten, da die Kollagenfibrillen der einzelnen Globuli auf das innigste miteinander verflochten sind und die Apatitkristalle mit ihrer Längsachse parallel zu den Fibrillen angeordnet sind. Das Ineinanderübergehen benachbarter Globuli zeigt sich am deutlichsten an den schmalen Ausläufern der IGR.

Auffallend ist, daß bei allen Präparaten die Kollagenfibrillen in den IGR weniger dicht angeordnet sind als im Globulardentin. Dieser quantitative Unterschied in den beiden Bereichen war in einigen Fällen zwar nicht sehr groß, aber dennoch stets vorhanden. Auf Grund dieser Feststellung wäre es möglich, die Genese der IGR primär in einer Störung der organischen Matrix zu sehen, wodurch es erst sekundär zum Ausbleiben der Mineraleinlagerung kommt. Es ist aber nicht anzunehmen, daß allein die Entfernung der Kollagen-

fibrillen voneinander für die Mineralisation ausschlaggebend ist, da einige vom Globulardentin ausgehende Fibrillen über eine gewisse Distanz auch noch im sonst unmineralisierten IGR mit Kristallen beladen sind. Außerdem scheint es unwahrscheinlich zu sein, daß der Apatiteinbau von den einzelnen Kollagenfibrillen abhängt, weil die Fibrillen z. T. vom Globulardentin zum Interglobulardentin ohne jegliche Unterbrechung durchziehen. Dies bedeutet, daß eine Fibrille auf ihrer einen Seite mineralisiert und auf ihrer anderen unmineralisiert sein kann. Unter der Annahme, daß die Eigenstruktur einer Fibrille über ihre ganze Länge konstant ist, kann das Ausbleiben der Mineralisation nur durch einen äußeren Faktor erklärt werden.

Rein theoretisch betrachtet, könnte es sich hierbei entweder um das Vorhandensein eines mineralisationshemmenden oder aber das Fehlen eines mineralisationsfördernden Stoffes handeln. Der Wirkungsmechanismus eines Hemmstoffes könnte so erklärt werden, daß durch ihn die Kollagenfibrillen wie mit einem Schutzfilm maskiert sind und so der Hydroxylapatit von den Fibrillen ferngehalten wird. In diesem Fall käme es zur Ausbildung des unmineralisierten IGR. Nur wenn dieser Hemmstoff nicht vorhanden ist, kann sich Hydroxylapatit an die Kollagenfibrillen anlagern, wodurch es zum Erscheinungsbild des Globulardentins kommt. Hierzu genau entgegengesetzt würde ein die Mineraleinlagerung fördernder Stoff arbeiten. Nur wenn er vorhanden ist, kann es zur Mineralisation kommen. Bei seinem Fehlen bleibt sie unweigerlich aus.

Setzen wir diese Prozesse mit den morphologischen Strukturen in Verbindung, so ergibt sich hieraus folgerichtig, daß den stets wiederkehrenden Kugelgestalten der Globuli als aktiven Formen der Vorrang gebührt gegenüber den unregelmäßig geformten IGR. Die Gobuli sind somit nicht nur formbestimmend für sich selbst, sondern außerdem auch für die IGR. Daraus ließe sich folgern, daß für den Mineralisationsvorgang ein fördernder Stoff in den Globuli vorliegen muß und im Gegensatz dazu das Ausbleiben der Mineralisation im IGR nicht durch einen Hemmstoff bewirkt wird.

Die Annahme nur eines Stoffes wird dadurch gefestigt, daß auf der Grenze zwischen Globular- und Interglobularraum keine Liesegangschen Ringe ausgebildet sind. Derartige Ringe können nur dort entstehen, wo zwei Faktoren eines Reaktionssystemes von getrennten Stellen her aufeinander einwirken.

Die Entscheidung, ob fördernde oder hemmende Substanzen vorliegen, muß einer Zeit vorbehalten bleiben, in der es gelingt, solche Stoffe darzustellen. Ein solcher Nachweis müßte sicherlich mit histochemischen Methoden erfolgen. Dies würde jedoch den Rahmen dieses Themas überschreiten.

Das Präparat der Abb. 28—33 wurde schon im vorherigen Kapitel getrennt behandelt, da es ein völlig anderes Bild zeigt als die sonstigen Präparate. Bei diesem Zahn lagen die ersten Anzeichen für eine beginnende Karies vor. Sowohl die whitlockitähnlichen Kristalle als auch die Veränderungen der Kollagenfibrillen des unmineralisierten IGR sprechen hierfür (s. HERTING, 11, 12, LENZ 17).

Unter der Annahme, daß es sich hierbei um ein kariöses Gebiet handelt, wäre es denkbar, das gesamte Erscheinungsbild als Folge der Karies zu sehen. Dies scheint jedoch nicht zuzutreffen, da sonst mehr Fibrillen in dem unmineralisierten Bezirk vorhanden sein müßten. Auch sind die einzelnen Fibrillen noch nicht so sehr verändert, daß ihre geringe Menge durch die Zerstörung zu erklären wäre. Dieses Gebiet muß demnach schon vor dem kariösen Befall unmineralisiert, also ein IGR gewesen sein.

Ebenso scheint es nicht zuzutreffen, daß die Dentininseln erst durch den Kariesprozeß entstanden sind. Im entmineralisierten und kontrastierten Schnitt zeigt sich ganz deutlich, daß die Dentininseln eine für mineralisierte Bezirke typische dichte Anordnung der Kollagenfibrillen besitzen. Somit heben sie sich deutlich vom weitmaschigen Kollagenfibrillennetz des IGR ab. Die Dentininseln müssen also schon vor dem Kariesprozeß vorhanden gewesen sein. Eine nachträgliche Entstehung wäre ja nur möglich, wenn sich gleichzeitig die Fibrillen in diesem Bereich verdichtet hätten.

Es ist demnach anzunehmen, daß es sich in diesem Präparat um einen echten IGR handelt, in dem sich solitäre Dentininseln befinden.

Da allein die Fibrillen des unmineraliserten IGR eine kariöse Veränderung zeigen, die Fibrillen der mineralisierten Bezirke (Globuli und Inseln) dagegen völlig normal aussehen, ist die Behauptung von MEYER (19), daß sich die Karies in den mineralfreien IGR schneller ausbreitet, zu befürworten.

VI. Zusammenfassung

Am menschlichen Dentin wurden mit licht-, röntgen- und elektronenmikroskopischen Methoden das Globulardentin (GD) und die Interglobularräume (IGR) auf Formen und Strukturen untersucht. Es wurden Dünnschliffe sowie Dünnschnitte (mineralisiert und unmineralisiert) verwandt. Dabei wurden folgende Ergebnisse gefunden:

1. Die Angaben in der Literatur über die Topographie des GD und der IGR wurden bestätigt.

2. Die Grenze vom GD zum IGR erscheint nur im Licht- und Röntgenmikroskop scharf, im Elektronenmikroskop nicht. Im mineralisierten Dentin sind die Globuli wegen der eingelagerten Hydroxylapatitkristalle dunkel, die IGR dagegen hell, weil dort nur organische Substanz vorhanden ist. Im entmineralisierten Präparat ist diese Grenze nicht mehr so deutlich zu erkennen, da in beiden Bereichen die organischen Kollagenfibrillen gleichmäßig stark kontrastiert sind.

3. GD und IGR sind keine voneinander völlig unabhängige Bezirke, da die Kollagenfibrillen von einem Raum in den anderen kontinuierlich übergehen.

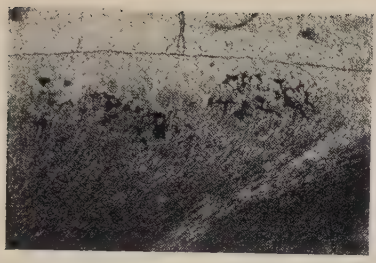
4. Im IGR und GD besitzen die Fibrillen die für Kollagen typische Ultrastruktur. Im GD scheinen sie nach der Entmineralisation etwas unscharf. Diese Erscheinung kann auf die Prozesse der Mineralisation und Entmineralisation zurückgeführt werden.

5. Je mehr sich zwei Gobuli miteinander berühren, um so weniger ist eine Grenzlinie zwischen ihnen zu erkennen. Sie können so stark miteinander verschmelzen, daß beide Bezirke kontinuierlich ineinander übergehen und einheilich erscheinen. Dieses gilt sowohl für die mineralisierten wie auch für die entmineralisierten Präparate.

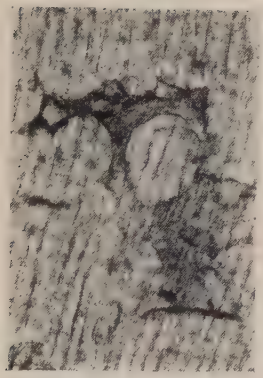
6. Eine radialstrahlige Anordnung der Kristalle in den Globuli, wie sie aus den polarisationsoptischen Beobachtungen stets gefolgert wurde, konnte elektronenoptisch noch nicht nachgewiesen werden.

7. Die Kollagenfibrillen sind im GD und IGR ohne jegliche Vorzugsrichtung angeordnet (Ausnahme im IGR der Abb. 27).

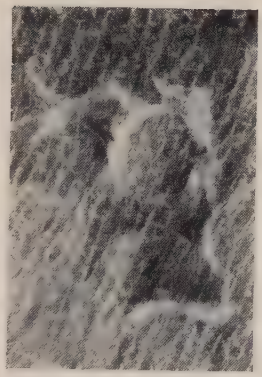
8. Die Menge der Kollagenfibrillen im IGR ist in den einzelnen Präparaten verschieden. Im IGR befinden sich meist weniger Fibrillen als im GD.
9. In einem Präparat waren im IGR Kleinstglobuli (Dentininseln) vorhanden. In der Struktur ihrer mineralischen und fibrillären Elemente unterscheiden sie sich nicht vom GD.
10. Die Dentinkanäle ziehen geradlinig durch die IGR hindurch. Eine Ablenkung am Übergang vom GD zum IGR wurde nicht beobachtet.
11. Es wurde diskutiert, ob die unmineralisierten IGR durch die Anwesenheit eines hemmenden oder durch das Fehlen eines fördernden Stoffes zustande kommen.



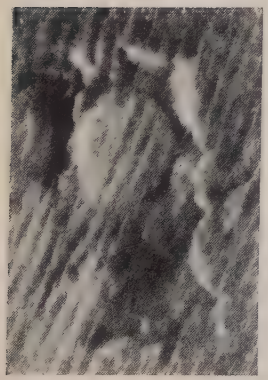
1



2 a



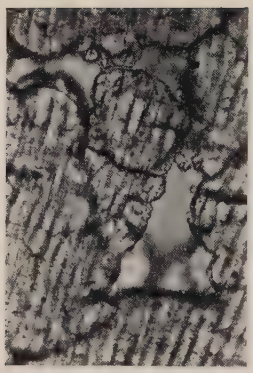
2 b



2 c

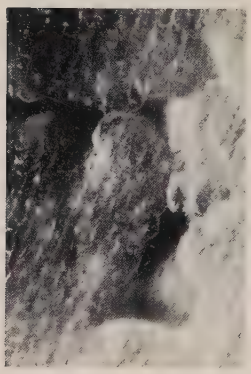
2 d

2 e



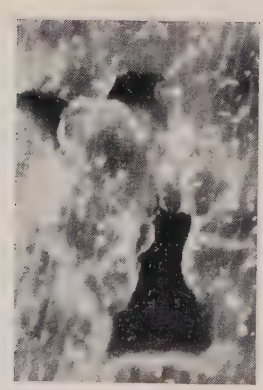
2f

2g



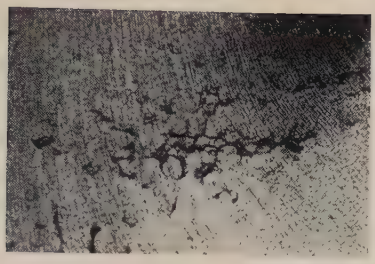
2h

2l

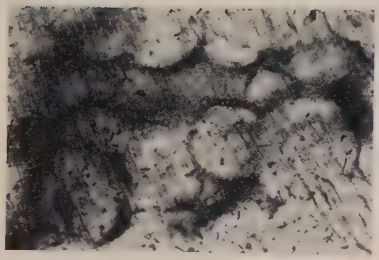


2i

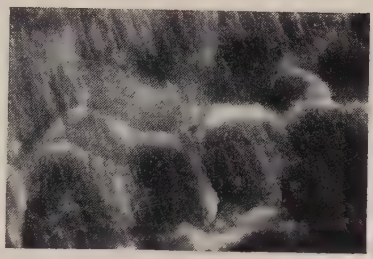
2k



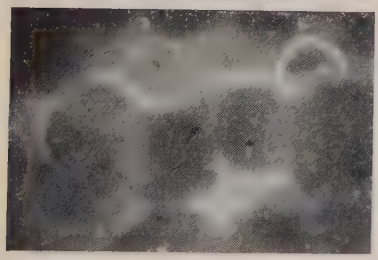
3



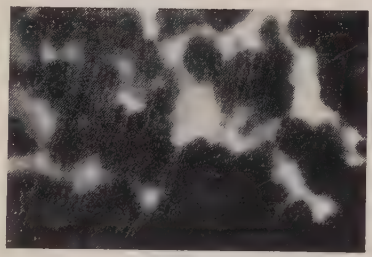
4 a



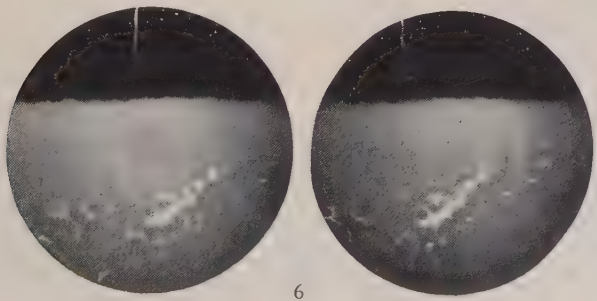
4 b



4 c

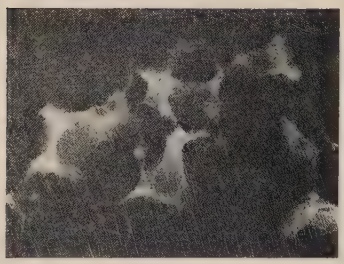


5

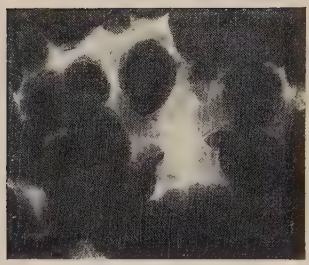


6

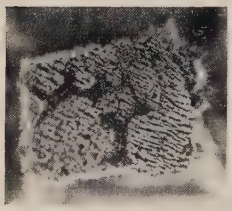
TAFEL IV



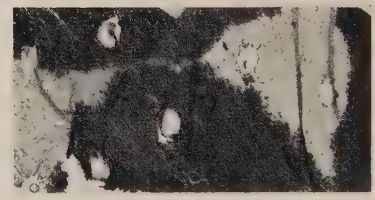
7



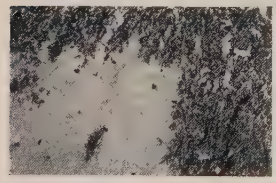
8



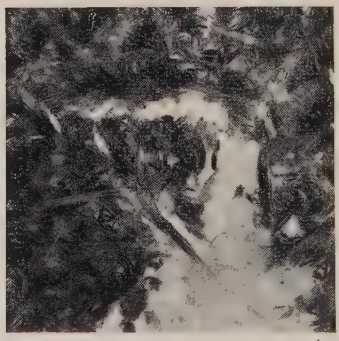
9



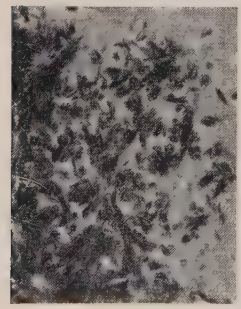
10



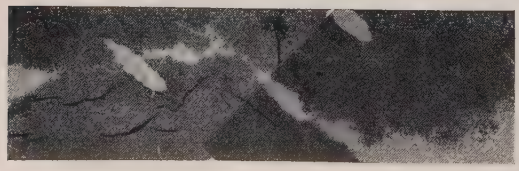
11 a



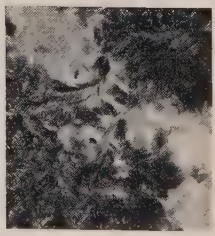
11 b



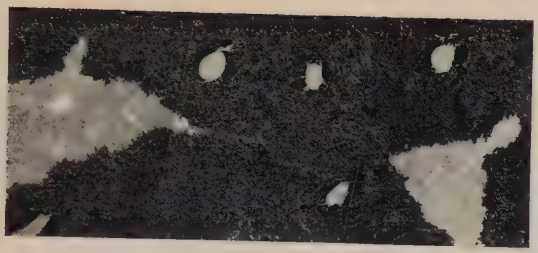
13



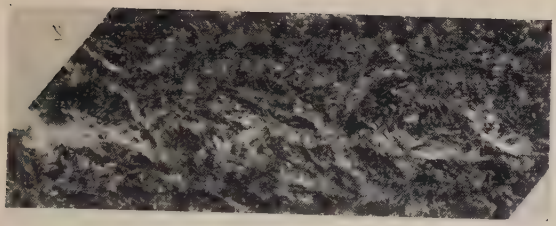
12



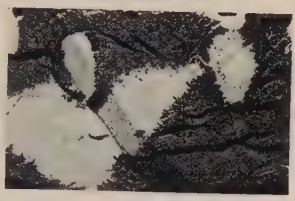
14



15

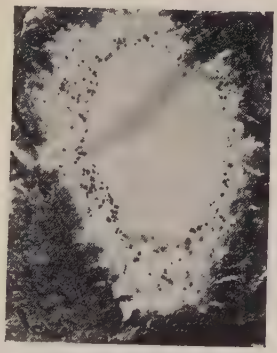


16

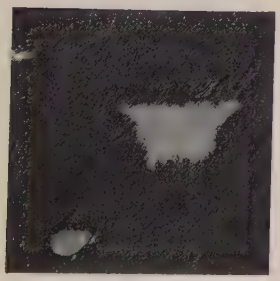


17

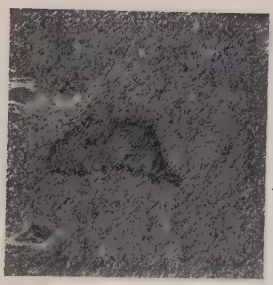
18



19



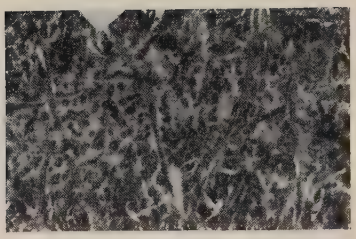
20



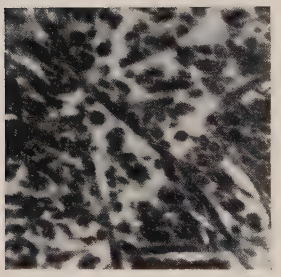
21

TAFEL VI

22

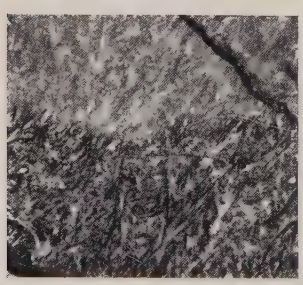


23

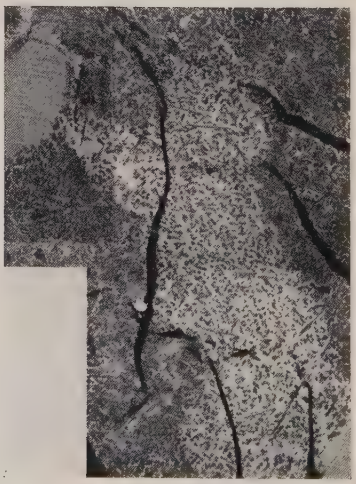


24

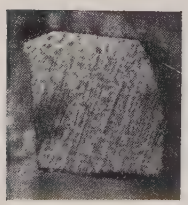
25



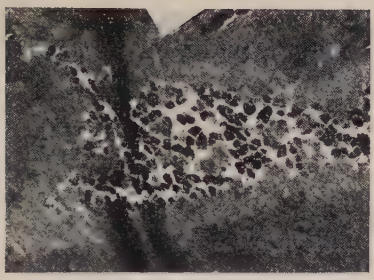
26



27

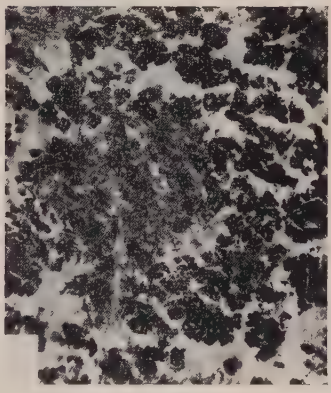


28



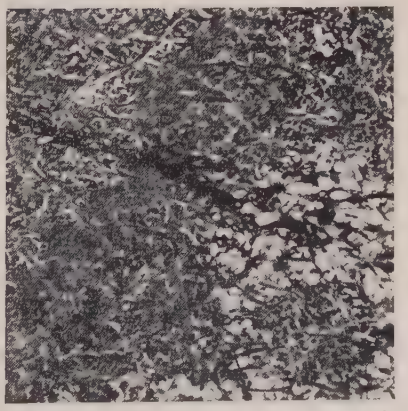
29

30



31

32



33

Abb. 1 Interglobulardentin, lichtmikroskopisch, Durchlichthellfeld. Vergrößerung 40 : 1.

Abb. 2 Vergrößerung aus Abb. 1 in unterschiedlichen Beobachtungsmethoden
a) Durchlichthellfeld;
b) Durchlichtphasenkontrast;
c) Auflicht von links;
d) Auflicht von rechts;
e) Auflicht-Fluoreszenz (Akridin-Orange);
f) entkollagenisiert, Durchlichthellfeld, auf Oberfläche fokussiert;
g) wie f), auf Unterfläche fokussiert;
h) entkollagenisiert, Durchlichtdunkelfeld;
i) entkollagenisiert, Auflicht, Oberfläche beleuchtet;
k) wie i), Ober- und Unterfläche beleuchtet;
l) entkollagenisiert, Durchlicht-Fluoreszenz (Akridin-Orange).
Vergrößerung a, b, f, g, h, l 400 : 1; c, d, e, i, k 500 : 1.

Abb. 3 Interglobulardentin, lichtmikroskopisch, Durchlichthellfeld. Vergrößerung 100 : 1.

Abb. 4 Teilvergrößerung aus Abb. 3
a) Durchlichthellfeld;
b) Auflicht, schräg;
c) Auflichtfluoreszenz.
Vergrößerungen a 400 : 1; b, c 500 : 1.

Abb. 5 Interglobulardentin, Durchlichtfluoreszenz. Vergrößerung 250 : 1.

Abb. 6 Röntgenmikroskopische Stereoaufnahme eines Dentinschliffes mit IGR (Aufnahme: H. Reibedanz). Vergrößerung 60 : 1.

Abb. 7 Röntgenmikroskopische Aufnahme eines IGR (Aufnahme: H. Reibedanz). Vergrößerung 300 : 1.

Abb. 8 Röntgenmikroskopische Aufnahme eines IGR (Aufnahme: H. Reibedanz). Vergrößerung 300 : 1.

Abb. 9 Interglobulardentin (im pyramidenförmig angespitzten Methacrylatblock), lichtmikroskopisch, Durchlichthellfeld. Vergrößerung 250 : 1.

Abb. 10 Gleiches Präparat wie Abb. 9 (mineralisiert). Zwei gegenüberliegende Globuli werden von einer schmalen Verbindung des links und rechts liegenden IGR (hell) voneinander getrennt. Im Bild befinden sich fünf angeschnittene Dentinkanäle, von denen sich zwei im IGR befinden. Am Lumenrand dieser beiden Kanälchen befinden sich hydroxylapatitähnliche Kristalle. Elektronenmikroskopisch, Vergrößerung 3000 : 1.

Abb. 11 a Elektronenmikroskopisch (mineralisiert), Grenze von GD zum IGR. Einzelne Kollagenfibrillen ziehen von einem Bezirk in den anderen. Vergrößerung 10 000 : 1.

Abb. 11 b Elektronenmikroskopisch (mineralisiert), Grenze vom GD zum IGR. Eine Kollagenfibrille zieht von einem Bezirk in den anderen. Vergrößerung 20 000 : 1.

Abb. 12 Elektronenmikroskopisch (mineralisiert). Zwischen drei Globuli, von denen zwei miteinander verschmolzen sind, zieht eine schmale Verbindung zu dem links und rechts sichtbaren IGR. Auf der linken Seite ist diese Verbindung gerade noch zu erkennen; in ihr befinden sich zwei Dentinkanäle. Vergrößerung 3000 : 1.

Abb. 13 Teilvergrößerung aus Abb. 12. Grenzzone zwischen GD und IGR. Vergrößerung 20 000 : 1.

Abb. 14 Teilvergrößerung aus Abb. 12. Beginnende Verschmelzung zweier gegenüberliegender Globuli. Vergrößerung 20 000 : 1.

Abb. 15 Elektronenmikroskopisch (mineralisiert). Gegenüberliegende Globuli, die z. T. schon miteinander verschmolzen sind; der linke IGR zieht als schmaler Strich zwischen die beiden Globuli. Im linken IGR befindet sich ein Dentinkanal genau an der Grenze zwischen GD und IGR; im rechten IGR befindet sich ein Dentinkanal in einer lagunenartigen Ausstülpung dieses Raumes. Vergrößerung 3000 : 1.

Abb. 16 Vergrößerung des Ausläufers des linken IGR aus Abb. 15. Elektronenmikroskopisch. Vergrößerung 20 000 : 1.

Abb. 17 Elektronenmikroskopisch (mineralisiert). Von drei Globuli begrenzter IGR; ein Dentinkanal liegt auf der Grenze zwischen GD und IGR. Ein zweiter Dentinkanal liegt in einer lagunenartigen Erweiterung des IGR. Vergrößerung 3000 : 1.

Abb. 18 Teilvergrößerung aus Abb. 17. Vergrößerung 10 000 : 1.

Abb. 19 Teilvergrößerung aus Abb. 17. Vergrößerung 20 000 : 1.

Abb. 20 Elektronenmikroskopisch (mineralisiert). IGR, von vier Globuli begrenzt. Die anorganische und organische Substanz des GD scheinen eine Vorzugsrichtung zu haben, die jedoch nicht an die Globuli gebunden ist, sondern im ganzen Bild von links unten nach rechts oben zieht. Vergrößerung 3000 : 1.

Abb. 21 Elektronenmikroskopisch (entmineralisiert und kontrastiert). Es handelt sich um das gleiche Präparat wie in Abb. 20, einige Schnitte tiefer. Der IGR ist von einer schwarzen Randzone umgeben. Die organische Substanz im IGR scheint genauso dicht wie im GD zu sein. Vergrößerung 3000 : 1.

Abb. 22 Teilvergrößerung der Randzone aus Abb. 21. Im GD befinden sich mehr Kollagenfibrillen als im IGR. Die Randzone zeigt eine besonders starke Ansammlung von Kollagenfibrillen. Zwischen den Fibrillen des IGR (unterer Teil) befindet sich Methacrylat. Vergrößerung 20 000 : 1.

Abb. 23 Elektronenmikroskopisch (entmineralisiert und kontrastiert). Zwischen zwei gegenüberliegenden Globuli befindet sich ein

schmaler Streifen von IGR. Die Grenze zeigt eine leichte Verdichtung der organischen Substanz. Im GD sind die Kollagenfibrillen dichter angeordnet als im IGR. Einzelne längsgetroffene Kollagenfibrillen ziehen durch den IGR hindurch. Vergrößerung 20 000 : 1.

Abb. 24 Gleiches Präparat wie Abb. 23. Stärkere Vergrößerung einer Kollagenfibrille, die durch den IGR hindurchzieht. Vergrößerung 40 000 : 1.

Abb. 25 Elektronenmikroskopisch (entmineralisiert und kontrastier). IGR unten und links oben von GD begrenzt, im IGR weniger Fibrillen als im GD. Die einzelnen Fibrillen durchflechten sich in jeder Raumdimension. Im IGR befindet sich rechts ein Dentinkanal. Vergrößerung 10 000 : 1.

Abb. 26 Elektronenmikroskopisch (entmineralisiert und kontrastiert.). Es handelt sich um das gleiche Präparat wie in Abb. 25. Der unten liegende IGR wirkt dunkler als das oben liegende GD. Die Fibrillen im IGR sind stärker kontrastiert. Die organische Substanz im IGR und GD ist fast gleich dicht angeordnet. Vergrößerung 10 000 : 1.

Abb. 27 Elektronenmikroskopisch (entmineralisiert und kontrastiert). Gleiches Präparat wie in Abb. 17, 18, 19. Im hell wirkenden IGR befinden sich weniger Kollagenfibrillen als im GD. Die Kollagenfibrillen sind zum größten Teil quer angeschnitten. Im Bild unten befindet sich ein Dentinkanal auf der Grenze zwischen IGR und GD. Der in Abb. 18 sichtbare mineralisierte Saum um den Dentinkanal ist nicht mehr vorhanden. Oben ist ein Dentinkanal in einer lagunenartigen Bucht des IGR zu sehen. Vergrößerung 10 000 : 1.

Abb. 28 Lichtmikroskopisch. Durchlichthellfeld. Granuliert wirkender IGR in pyramidenförmig angespitztem Methacrylatblock.

Abb. 29 Elektronenmikroskopisch (mineralisiert). Dickschnitt aus dem Präparat der Abb. 28. IGR, von drei Globuli begrenzt.. Die Globuli haben einen deutlich sichtbaren hellen Grenzsaum. Im IGR einzelne Dentininseln von ungefähr gleichem Kontrast wie der Randsaum. Bei den dunkleren Gebilden handelt es sich um hydroxylapatitähnliche Kristalle. Vergrößerung 3 000 : 1.

Abb. 30 Elektronenmikroskopisch (mineralisiert); das gleiche Präparat wie auf Abb. 28, 29. Von zwei Globuli begrenzter IGR. Der Randsaum ist nicht mehr so klar zu erkennen. Im IGR mehrere Dentininseln; im oberen Teil des Bildes wahrscheinlich Anschnitt eines längsgetroffenen Dentinkanals. Vergrößerung 3 000 : 1.

Abb. 31 Elektronenmikroskopisch (mineralisiert). Ausschnittsvergrößerung aus Abb. 30. Einzeln liegende Dentininsel. Ein globulärer Aufbau ist nicht zu erkennen. Die anorganischen und organischen Bestandteile strahlen in den IGR ein. Die im IGR liegenden dunklen Kristalle sind hydroxylapatit- sowie whitlockitähnliche Kristalle. Vergrößerung 20 000 : 1.

Abb. 32 Elektronenmikroskopisch (entmineralisiert und kontrastiert). Gleiche Präparate wie in Abb. 28 bis 31. IGR, von zwei Globuli begrenzt. Die Globuli besitzen eine dunklere Grenzlinie, die auf einer lokalen Verdichtung der Kollagenfibrillen beruht. Im IGR einzelne Dentininseln. Die Kollagenfibrillen der Dentininseln strahlen in den IGR ein, z. T. stehen sie auch in Verbindung mit dem GD. Die Fibrillen des IGR zeigen keine deutliche Querstreifung mehr, wirken zerstört. Vergrößerung 4 500 : 1.

Abb. 33 Stärkere Vergrößerung aus demselben Präparat. Grenze zwischen GD und IGR. Die rechts oben liegende Dentininsel zeigt eine gleiche Kollagenfibrillendichte wie der Randsaum des GD. Dentininseln und Globulus sind durch einzelne Kollagenfibrillen miteinander verbunden. Vergrößerung 15 000 : 1.

VII. Literatur

(1) Czermak, J.: zitiert aus W. J. Schmidt und A. Keil „Die gesunden und die erkrankten Zahngewebe des Menschen und der Wirbeltiere im Polarisationsmikroskop". Hanser-Verlag, München 1958.

(2) v. Ebner, V.: zitiert aus W. J. Schmidt und A. Keil „Die gesunden und die erkrankten Zahngewebe des Menschen und der Wirbeltiere im Polarisationsmikroskop". Hanser-Verlag, München 1958.

(3) Fazio, E. de, und A. Marenduzzo: Les espaces interglobulaires de la dentine coronaire chez l'homme. Bull. Group. Int. Rech. Sc. Stomat. **5**, 286—301, 1962.

(4) Fazio, E. de, und A. Marenduzzo: Ulteriore contributo alla conoscenza degli spazi interglobulari nella dentina coronale dell'uomo. Archivio Stomatologico **3**, 91—105, 1962.

(5) Fazio, E. de: Microscopia di fluorescenza sugli spazi interglobulari della dentina coronale dell'uomo. Archivio Stomatologico **3**, 197—206, 1962.

(6) Fazio, E. de, und A. Marenduzzo: Ricerche di istologia comparata sugli spazi interglobulari della dentina coronale. Archivio Stomatologico **4**, 31—44, 1963.

(7) Fazio, E. de: Microscopia elettronica sugli spazi interglobulari della dentina coronale dell'uomo. Archivio Stomatologico **4**, 341—351, 1963.

(8) Goldberg, F.: The significance of interglobular spaces. The Dental Cosmos **67**, 107, 1925..

(9) Held, A.-J.: Structure microscopique de l'organe dentaire. Roth & Cie., Lausanne 1947.

(10) Held, A.-J.: Contribution à l'étude des espaces interglobulaires de la dentine. Adv. Fluor. Res. Dent. Car. Prev., 10. ORCA-Kongreß, 10.—14. 7. 1963, Genf. **2**, 113—125, 1964.

(11) Herting, H. Ch.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen über die Histologie des normalen Zementes der Wurzeln menschlicher Zähne. Inaugural-Dissertation, FU Berlin 1962.

(12) Herting, H. Ch.: Elektronenmikroskopische Beobachtungen an kariösem Dentin. DZZ **20**, 704—716, 1965.

(13) Hofmann, M.: Untersuchungen über die Polysaccharidverteilung im menschlichen Dentin, durchgeführt an Zahnschnitten. Z. Zellforsch. **43**, 82—96, 1955.

(14) Isokawa, S., T. Kosakai und S. Kajiyama: Interglobular Dentin in the deciduous tooth. J. Dent. Res. **42**, 831—834, 1963.

(15) Keil, A.: Über Doppelbrechung und Feinbau des menschlichen Zahnbeins. Z. Zellforsch. **21**, 635—652, 1934.

(16) Keil, A.: Über die Struktur des Dentins insbesondere des Globulardentins und kugeliger echter Dentikel. Zahnärztl. Rundschau **65**, H. 8, 1—4, 1954.

(17) Lenz, H.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen über Strukturen des normalen Dentins und deren Veränderung durch Karieseinwirkung. Inaugural-Dissertation, FU Berlin 1955.

(18) Meyer, W.: Lehrbuch der normalen Histologie und Entwicklungsgeschichte der Zähne des Menschen. Hanser-Verlag, München 1951.

(19) Meyer, W.: Histologie der Zähne und des Gebisses. In: Die Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, 1. Bd., 253—296, Verlag Urban & Schwarzenberg, München/Berlin 1958.

(20) Proell, F.: Zahnaufbau und Zahnzerfall in Abhängigkeit von der Ernährung. Verlag J. A. Barth, Leipzig 1956.

(21) Schmidt, H.: Ein Beitrag zur Morphologie der Interglobularräume im verkalkten Dentin und ihr Nachweis nach der Entkaltung. Arch. Oral Biol. Spec. Suppl. **4**, 63—66, 1961.

(22) Schmidt, H.: Feststellung von Strukturunterschieden im entkalkten Dentin bei Anwendung einer metachromatischen Färbung. Verhandl. 6. ORCA-Kongreß, 2.—5. 7. 1959, Pavia. 193—198, 1962.

(23) Schmidt, W. J. und A. Keil: Die gesunden und die erkrankten Zahngewebe des Menschen und der Wirbeltiere im Polarisationsmikroskop. Hanser-Verlag, München 1958.

(24) Schour, I.: Noyes' Oral Histology and Embryology. 8th edition, Lea & Febiger, Philadelphia 1960.

(25) Schwarz, W. und G. Pahlke: Elektronenmikroskopische Untersuchungen an der Interzellularsubstanz des menschlichen Knochengewebes. Z. Zellforsch. **38**, 475—487, 1953.

(26) Schwarz, W., H.-J. Merker, A. Jahnke und M. Hofmann: Wachstum und Altern des Bindegewebes. Berlin Medizin 88—90, 1958.

(27) Sicher, H.: Orban's Oral Histology and Embryology. 5th edition, Mosby Comp., Saint Louis 1962.

(28) Spreter v. Kreudenstein, T.: Experimentelle Beiträge zur Pathologie der Zahnhartgewebsentwicklung. Samml. Meußer, Heft 36. Verlag H. Meußer, Leipzig 1939.

(29) Walkhoff, O.: Die normale Histologie menschlicher Zähne. 2. Aufl., Verlag A. Felix, Leipzig 1924.

Hiermit möchte ich Herrn Professor Dr. med. H. Mathis meinen ergebenen Dank für die Überlassung des Themas aussprechen. Aus seinen langjährigen Erfahrungen in der Zahnhistologie hat er mir reiche und wertvolle Hilfe gewährt. Für diese erwiesene Förderung danke ich ihm herzlich.

Die Untersuchungen wurden in der Forschungsgruppe für Mikromorphologie im Institut für Elektronenmikroskopie (MPG), Berlin-Dahlem, mit Unterstützungen der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bad Godesberg, und des National Institute of Health (Bethesda, Md., USA), Public Health Service Research Grant No. De 01477, durchgeführt. Mein besonderer Dank gebührt den Oberpräparatoren, Herrn R. Rau und Herrn G. Neubauer, für ihre sorgfältigen Unterweisungen in den elektronenmikroskopischen Techniken und ihre Hilfe bei den elektronenmikroskopischen Aufnahmen. Herrn H. Reibedanz, Institut für Elektronenmikroskopie, bin ich für die röntgenmikroskopischen Aufnahmen zu größtem Dank verpflichtet. Die photogrammetrischen Ausmessungen und Rekonstruktionszeichnungen verdanke ich dem wissenschaftlichen Zeichner, Herrn K. Bogen, die photographischen Arbeiten Fräulein J. Lück.

Lebenslauf

Am 27. Oktober 1940 wurde ich, Gerhard Heinrich Helmcke, als Sohn des Prof. Dr. phil. habil. Johann-Gerhard Helmcke und seiner Ehefrau Dr. Magdalene Helmcke, geb. Gdaniec, in Berlin geboren. 1947 wurde ich in Bergerdamm, Kreis Westhavelland, eingeschult, wechselte 1949 zur 1. Grundschule in Berlin-Neukölln. Von 1953 bis 1958 besuchte ich den neusprachlichen Zweig der 1. OWZ (Albert-Schweitzer-Schule) in Berlin-Neukölln. Am 8. März 1960 bestand ich die Reifeprüfung an der 1. OWZ (Luise-Henriette-Schule) in Berlin-Tempelhof. Am 2. Mai 1960 wurde ich in der Medizinischen Fakultät, Fachrichtung Zahnmedizin, an der Freien Universität Berlin immatrikuliert und bestand dort am 29. Oktober 1962 das Physikum. Bis auf das Sommersemester 1963, in dem ich an der Albert-Ludwigs-Universität in Freiburg i. Br. war, setzte ich an der Freien Universität Berlin meine Studien fort, die ich am 29. Juli 1965 mit dem Staatsexamen abschloß. Die Approbation als Zahnarzt wurde mir am 30. September 1965 erteilt. Seit dem Staatsexamen arbeite ich in der Forschungsgruppe für Mikromorphologie im Institut für Elektronenmikroskopie (MPG) in Berlin-Dahlem.